

日本大学理工学部 正員 浅川美利

同 上 正員 宮森建樹

同 大学院 学生員 畑野俊久

まえがき

Skempton は、正規圧密粘土では C_u/p の比は一定で、その値は土の種類によって変わることを見出し、土の種類を表す尺度として I_p と選び、 $C_u/p = f(I_p)$ で現位置試験の結果を整理し、その妥当性を確めた。さらに乱さない正規圧密粘土の非排水せん断試験の結果から $C_u/p = 0.11 + 0.0037(I_p)$ なる直線関係を示している。この実験式は、圧密排水法による地盤改良後の強度増加を推定する場合によく用いられている。わが国における海成タイ積粘土は、 $I_p = 40 \sim 80$ であり、 $C_u/p = 0.25 \sim 0.33$ の範囲であるとされている。

この種の問題に関する研究は過去に多数行われているが、三軸圧縮試験結果による強度常数を入れて解析的に扱った Bjerrum の仕事と、各種粘土を海水条件で沈降タイ積させ、自然条件に近いものを室内で再現し、粘土の種類と固相水の塩の種類 (Na-粘土に KCl 溶液を透水し、Na-粘土と K-粘土あるいは K-Na-粘土とした) によって C_u/p 関係がどのように変わるかをしらべた Rosengvist の仕事で代表される。 $C_u/p - I_p$ あるいは $\phi - I_p$ の関係が経験的に知られており、一方粘土の種類あるいは粘土の性質と I_p 関係が知られてはいるが、ともに I_p という指數的性質を介しての相互関係であって、強度特性にかかわる土塊の性質あるいは集合系における粘土-水システムの性質との関連がつけられていない。 I_p と土塊の性質に共通する要素を選び、その要素が強度特性にどのように影響するかを knowing, $I_p \rightarrow$ 土塊の性質 $\rightarrow$ 強度特性という相互関係で問題を考えていくのが本節である。

共通の要素として、今回は、液相の溶液条件 (塩の種類と濃度) だけを変えるようにし、また供試体は、等方圧密した正規圧密粘土を対象とし、上記のことがらを検討した。

I. 試験方法

I-1. 試料: 粘土は市販カオリン 1 種類で、溶液条件として $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (モル濃度 1%), NaCl (3%), KCl (0.5, 1.0, 2.0%), MgSO_4 (0.5, 1.0%), AlCl_3 (3.0%) の 5 種類の塩を用いた。カオリンの性質は、 $G_s = 2.675$, $w_L = 50.2$, $I_p = 20.8$ である。カオリンに上記溶液を、

$w = 50\%$ となるように加え、よく均してスラリー状にし、直径 5cm、高さ 12cm の円筒圧密容器に固りをろ紙で包むようにしてスラリー状粘土を入れ、下記の等方圧で 24hr 圧密し再成供試体を作った。圧密圧力は、 $\bar{\sigma}_v = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0$, および 4.0 kg/cm^2 の 7 段階である。一次圧密は 8 時間以内で起っていることを確めた。

I-2 試験: コンシステンシー試験における注水は、蒸留水の代わりに使用溶液を加水しながら行なった。非排水せん断試験は、上記の圧密が終ってから、供試体、セルに通ずるコックを閉じ (供試体を過圧密状態にしないために圧密時の圧力を維持)、三軸圧縮装置にセットし、圧密圧力と同じセル圧を加え、ヒズミ速度、約 1% で圧縮した。

II. 考察

II-1. 溶液の種類と濃度による I_p の変化について

無機質の粘土の場合、その土のコンシステンシーの性質に関係するおもな因子は、含有する粘土鉱物の種類と卓越成分の含有率、液相中に含まれる塩の種類と濃度であることはよく知られている。

固相に関して、粘土粒子の比表面積などいわゆる粒子の幾何的な性質と粒子の表面電荷など表面の静電的な性質とが重要な意味をもつ。液相に関しては $Al(OH)_3$ のようなセメンテーションに関わる二次生成物ができることを除けば塩そのものよりも塩が電離して粒子表面に吸着されるイオンの種類と濃度が重要な意味をもつ。

(液相の PH は両相に関わり合う)

一定の粘土に対し溶液の種類と濃度が異なることは、水含量、吸着イオンの極性、拡散イオンの濃度に変化を与えることになるので、吸着水膜のありかたに影響し、結果としてコンシステンシーの性質は変化する。

図-1 は、用いた溶液条件でのカオリンのコンシステンシーを塑性図にプロットしたものである。図中たとえば (+Ca) とプロットしたものは、Carnell の実験値で、カチオンの種類による変化の傾向と塑性の範囲を知るために引用した。 $AlCl_3$ と $Na_2P_2O_7$ の場合を除く A -line に密接して増減し、Carnell の結果とも割合あっている。 Mg と K の位置が違ふことは、カオリンの質の違いや $MgCl$ と $MgSO_4$ の違いなどによるものと思う。 $Na_2P_2O_7$ の場合と $NaCl$ の位置が著しく違ふのは、リン酸によるアニオン効果によるものと考えられる。

II-2. 塩の種類と強度特性

土塊の強度に影響する塩の作用、すなわち結合力に関係するをヒとして、(i) 個々の土粒子に吸着したカチオンとカチオンに吸着されたイオンあるいは水分子双極子が粒子相互でけん引し合う Van der Waals 力の大きさ、(ii) 界面二重層内で発生すると思われる反発力の大小、(iii) 塩の溶解度とイオン価数に関係する金属水酸化物の生成とそれのセメンテーションがあげられる。塩綿毛状構造をもつ土塊では Van der Waals けん引力が有効に作用す

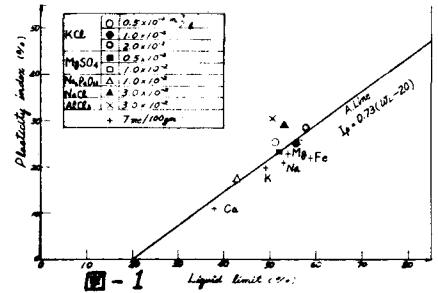


図-1

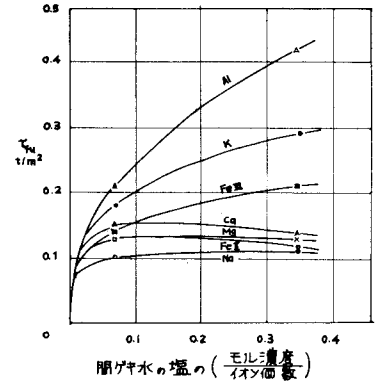


図-2

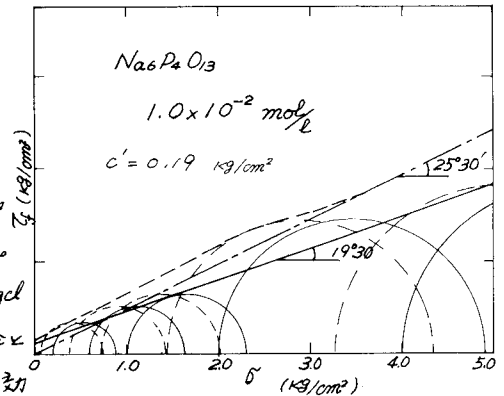


図-3

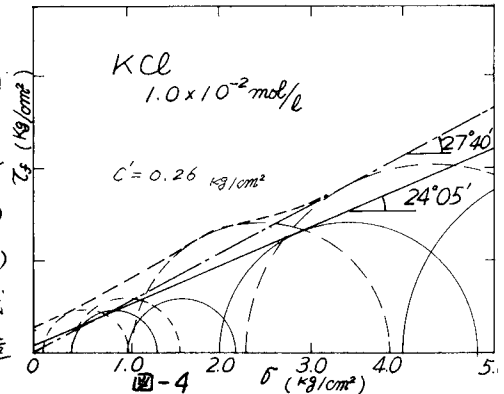


図-4

ると思われるが、粒子間距離の大きいよく分散した構造あるいは定向配列をもった土塊では、塩の種類と濃度による反発力の増減が考えるのが妥当であろう。

一般にイオン価数の大きくなるほど、電気二重層の反発力は弱められ、結果として結合力は増していくが、価数のイオンでもNaはくうべZKは反発力の低下が大きく、極性が大きいので、三価のFe、Alと同じように大きい結合力を発揮する。Fe³⁺、Al³⁺の塩は、液のPHによって異なるが一般に溶解度が低く、溶解中にAl(OH)₃のような金属水酸化物を生成し、そのセメンテーション効果が反発力低下に追加されるため大きい結合力を示すといわれている。

図-2は各種の塩のイオン濃度と乱れた土の非排水せん断強さ(フォールゴーンによる)の関係を示したJ. Mourmの実験である。結果は上述のことがらをよく反映しているように思える。

図-3、図-4、図-5はNa₂P₂O₇、KCl およびMgSO₄の1%モル濃度の土の非排水せん断試験結果を示す。包らる線は、全応力と有効応力とでそれぞれ整理した。どの塩の場合もわずかに過圧密相挙の影響が現われている。これが等圧圧密の装置から三軸装置に移動したときのセル圧の変化によるものだが、土粒子間の結合力が $\sigma = \sigma_{\text{アルストレス}}$ として現われたのが判明しないが、KCl>Mgcl>Na₂P₂O₇の順で程度に差のあまのは面白い現象である。 ϕ_{cu} はKCl、MgSO₄ともほとんど変らず、分散度の高いNa₂P₂O₇が最も小さい。

各種の塩を種々の濃度で添加した場合の破壊包らる線と比較的に示したのが図-6と図-7である。KClの場合Mourmの実験結果のように強度の増加によって ϕ_{cu} の増加があるかと期待したが、濃度と強度には比例的関係がみられなかった。またMgSO₄に比べて0.5%モル濃度では、 $\phi_{cu}(KCl) = 25^{\circ}55'$ 、 $\phi_{cu}(MgSO_4) = 22^{\circ}25'$ と差は認められるが、他の濃度での比較において両者に有意差はみられなかった。分散度の高いNa₂P₂O₇の場合の ϕ_{cu} は19⁰⁰'で他の塩にくらべてかなり低い値である。

II-3. $Cu/p - Ip$ 関係について

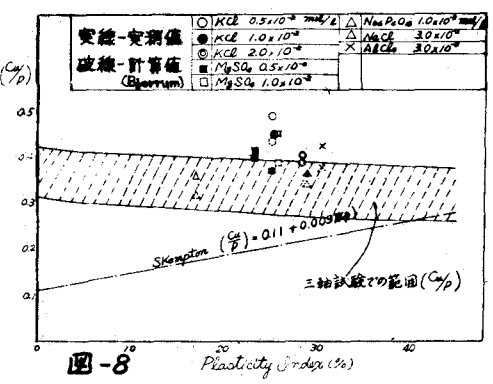
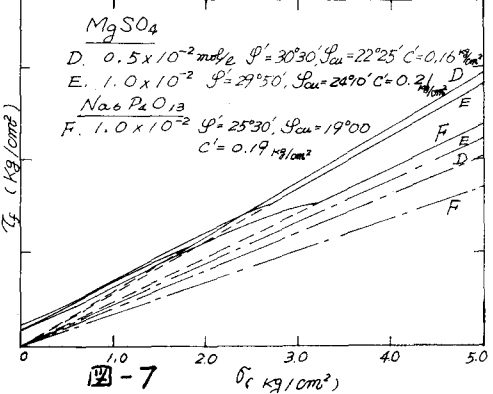
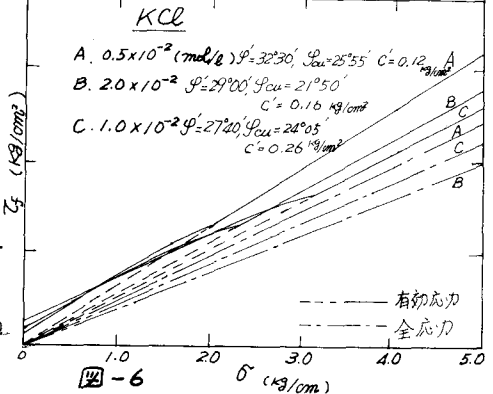
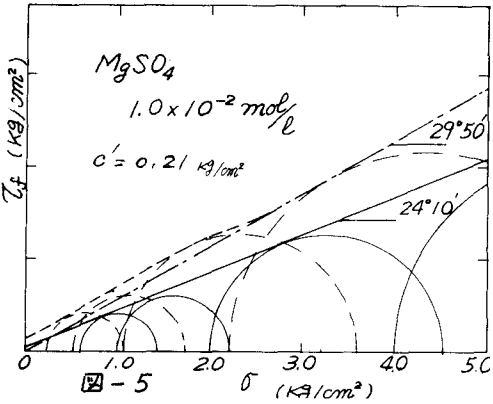


図-8は、実験結果から得た Skempton の $C_u/p = f(I_p)$ の直線関係と、三軸試験から得られる ϕ' , A を入れて $C_u/p = \frac{[K_0 + (1-K_0)A] \sin \phi'}{1 + (2A-1) \sin \phi'}$; ($K_0 = 1 - \sin \phi'$) から求められる Bjerrum の解析的方法による場合の関係を示し、それに実測値と Bjerrum の方法による計算値とをプロットしたものである。(Bjerrum の $I_p - C_u/p$ 関係の中は、図-9のような実測した $I_p - \phi$ 関係に $\pm 5^\circ$ の範囲をもたせたものである。) 図-9の $I_p - \phi'$ 関係では、 $Na_2P_2O_7$ の場合を除くと Bjerrum Line によくのっている。しかし $C_u/p - I_p$ 関係では計算値は大体 Bjerrum の示した範囲に入るが、実測値は $C_u/p = 0.35 \sim 0.50$ とかなり大きい値となっている。人工的に加えた塩の影響(群合作用)と自然土との差違が現われたことによるのかも知れない。

Rosengvist の実験結果では、Na-イライトで $C_u/p = 0.29$ Kcl の浸透によって Na を置換した K-イライトでは $C_u/p = 0.44$ と1.5倍も大きくなっている。また Na-モンモリリイトで $C_u/p = 0.29$ であるのに対して、K-モンモリリイトでは $C_u/p = 0.46$ を得ているところをみると著者らの行った結果もかなり妥当なものであるように思える。

三軸試験による $C_u/p - I_p$ 関係と現位置試験から得たものとの傾向の違いの原因として、圧密速度の違い、圧密の異方性などがあげられる。実験結果を有効応力で整理し、 $(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2 - (\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ の関係で表わしてみると、圧密応力の大きさ、塩の種類と濃度に関係なく図-10のような直線関係をうる。

II-4 圧密時間の影響とセメント中に起る記憶

供試体の圧密時間の影響を調べるために 48 hr の圧密供試体と 24 hr のものを比較してみた。図-11に示すように両者にほとんど差が認められない。図-12は、等方圧密した状態から破壊時の破壊面に作用する有効鉛直応力(破線)の状況 $w - \sigma$ の関係で示したものである。この関係は非排水セメント中に起る構造の変化を表わすもので、破壊時のそれは分散した構造となる。 $w - \sigma \rightarrow w - \sigma'$ の移行はセメント中に起った粒子配向の記憶を表わしている。卒業研究として協力した中山晴幸、永沢清両君に感謝する。

